

Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Labormessungen

Prof. Dr. Andreas Steil

Zu den (riesigen ?) **Risiken** und **Nebenwirkungen** der nun folgenden technischen Ausführungen fragen Sie am besten Ihren **technisch versierten Ansprechpartner**, gerne auch aus dem Publikum, oder auch **mich**.

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

1

Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Übeltäter HF-Verstärker (1)

Was passiert, wenn ein DAB-Signal verstärkt wird?
Vereinfachende Analogie - Grundidee

Ohne sog. „PreCorrection“

Original

HF-Verstärker

kaum verzerrt

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

2

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Übeltäter HF-Verstärker (2)

Was passiert, wenn ein DAB-Signal verstärkt wird?
Vereinfachende Analogie - Grundidee

Mit sog. „PreCorrection“

Original

HF-Verstärker

Komplizierte Berechnungen

kaum verzerrt

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

3


Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Was wurde gemessen?

- Überprüfen der HF-Eigenschaften der beteiligten Komponenten
 - Einhalten der Maske & Nebenaussendungen
 - Weitere HF-Parameter
 - HF-Leistung & Crest-Faktor
 - Modulatoreigenschaften
 - Signalqualität
 - ...
- Feststellen der Abhängigkeit des nötigen Empfangspegels vom Protection Level

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

4




Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

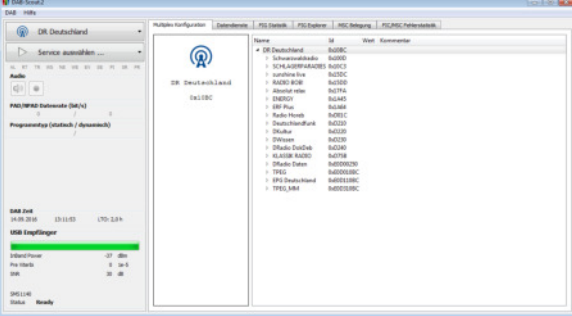
Womit (im wesentlichen) wurde gemessen?

Rohde & Schwarz ETL – TV Analyzer




Leihstellung: Vielen Dank!


IRT DAB-Scout 2



Rohde & Schwarz FSV – Signal Analyzer




Agilent J7211B



Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

5



Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil


Wie wurde gemessen?

Vorbereitungen

- ✓ Anfertigen von Skizzen der jeweiligen Messaufbauten
- ✓ Bestimmen der Dämpfungswerte aller Komponenten (Leitungen, Richtkoppler, Maskenfilter, Dummy-Load etc.)
- ✓ Einstellen und sichern („Stored“) der PreCorrection-Koeffizienten des GatesAir, damit die Reproduzierbarkeit gewährleisten
- ✓ Verbinden des ETL Analyzer mit dem 10 MHz Referenztakt des GatesAir-Senders

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

6



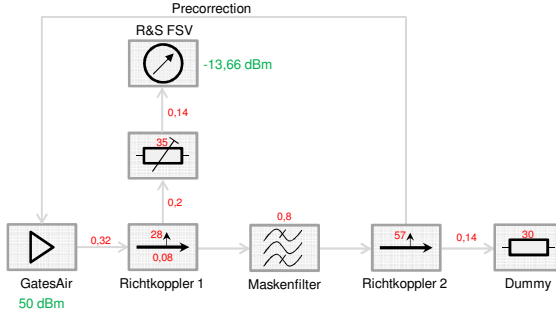
Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Nebenaussendungen: Wie wurde gemessen?

Direkte Messung mit FSV




Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

Gut zu wissen:
Parameterieren des Crestfaktors und der adaptiven PreCorrection:

- MER (ca. 29 dB RMS)
- akzeptable Dämpfung (ca. 35 dB bei ± 970 kHz), der Rest durch Maskenfilter ...

Dilemma & Kompromiss:
Je stärker die Nebenaussendungen durch den nichtlinearen Anteil der adaptiven PreCorrection am Ausgang der Endstufe unterdrückt werden - und damit der Schulterabstand vor dem Maskenfilter im Abstand ± 970 kHz immer besser wird -, desto stärker wächst die Intersymbolinterferenz innerhalb der Bandbreite (ICI) und damit MER und BER.

7

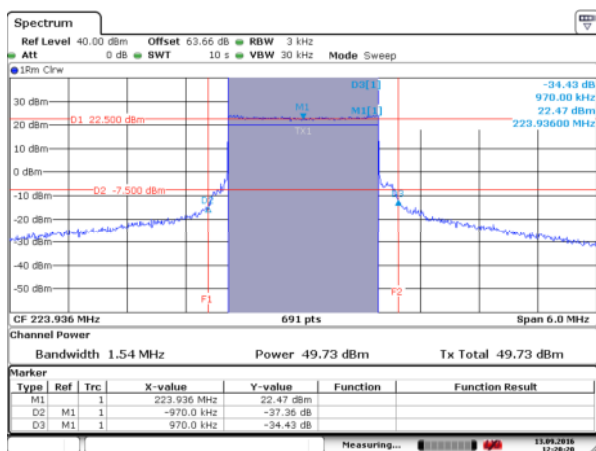


Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Nebenaussendungen: Ergebnis



| Marker | Type | Ref | Trc | X-value | Y-value | Function | Function Result |
|--------|------|-----|-----|-------------|-----------|----------|-----------------|
| M1 | M | 1 | | 223.936 MHz | 22.47 dBm | | |
| D2 | M | 1 | | -970.0 kHz | -37.36 dB | | |
| D3 | M | 1 | | 970.0 kHz | -34.43 dB | | |

| Frequenz in MHz | Dämpfung vor dem Filter mit FSV in dB |
|-----------------|---------------------------------------|
| f0 = 223,936 | 0 |
| f0 + 0,97 | -34,43 |
| f0 - 0,97 | -37,36 |

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

Nebenaussendungen vor Maskenfilter:

- Keine (direkt) messbar
- Erhöhung der Messdynamik (→Hochpass) wg. fehlendem Hochpass nicht möglich

8

Hochschule Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte Informatik
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Einhalten der Maske: Wie wurde gemessen?

(1) Indirekte Messung mit ETL (Transducerdatei)
(2) Direkte Messung mit FSV

| Mkr | Trans | X-Axis | Value | Notes |
|-----|-------|-------------|-----------|----------------|
| 1 | S21 | 222.908 MHz | -21.98 dB | fo - 0.970 MHz |
| 2 | S21 | 224.908 MHz | -21.00 dB | fo + 0.070 MHz |
| 3 | S21 | 222.186 MHz | -50.55 dB | fo - 1.700 MHz |
| 4 | S21 | 225.886 MHz | -15.86 dB | fo + 1.750 MHz |
| 5 | S21 | 221.736 MHz | -54.45 dB | fo - 2.200 MHz |
| 6 | S21 | 226.136 MHz | -59.26 dB | fo + 2.200 MHz |
| 7 | S21 | 220.935 MHz | -50.88 dB | fo - 3.000 MHz |
| 8 | S21 | 226.935 MHz | -52.27 dB | fo + 3.000 MHz |

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern 9

Hochschule Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte Informatik
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Einhalten der Maske: Ergebnis

Indirekte Messung mit ETL

R&S ETL Digital Spectrum S/N 104042, FW 2.80
Ch: --- RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB
Offs 1.00 dB RBW 3 kHz
Att 5 dB VBW 30 kHz
ExpLvl -3.50 dBm SWT 10s

| Interval [MHz] | Frequency [MHz] | Margin [dB] | Interval [MHz] | Frequency [MHz] | Margin [dB] |
|----------------|-----------------|-------------|----------------|-----------------|-------------|
| -0.97 | -0.97 | ----- | 0.97 | 0.97 | ----- |
| -3.00 | -0.97 | 2.950 | 2.277 | 0.97 | 3.00 |
| | | 2.995 | | | 25.361 |

Lvl 1.6dBm

Direkte Messung mit FSV


Spectrum
Ref Level 27.00 dBm Offset 61.57 dB BW 3 kHz
Att 0.00 dB VBW 30 kHz Mode Sweep

| Marker | Type | Ref | Trc | X-value | Y-value | Function | Function Result |
|--------|------|-----|-----|-------------|------------|----------|-----------------|
| M1 | L | | | 223.936 MHz | -22.59 dBm | | |
| D2 | M1 | L | | 970.0 kHz | -57.51 dB | | |
| D3 | M1 | L | | -970.0 kHz | -54.27 dB | | |

| Frequenz in MHz | Dämpfung vor dem Filter mit FSV in dB | Dämpfung nach dem Filter mit FSV in dB | Dämpfung mit ETL (Transducer) in dB |
|-----------------|---------------------------------------|--|-------------------------------------|
| fo = 223,936 | 0 | 0 | 0 |
| fo + 0,97 | -34,43 | -57,51 | -59,06 |
| fo - 0,97 | -37,36 | -54,27 | -53,58 |

Fazit: Die ETSI-Maske ETSI EN 302 077 (Case 2) wird mehr als eingehalten

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern 10




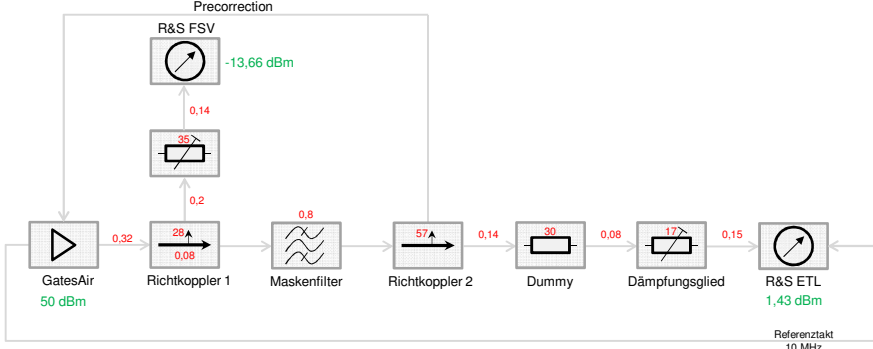
Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Weitere HF-Parameter: Wie wurde gemessen






Referenztakt
10 MHz

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

11




Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Weitere HF-Parameter: Ergebnisse



Übersicht

R&S ETL Digital Overview S/N 104042, FW 2.80

Ch: --- RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB
 Offs 1.00 dB
 Att 10 dB
 ExptLvl 1.40 dBm

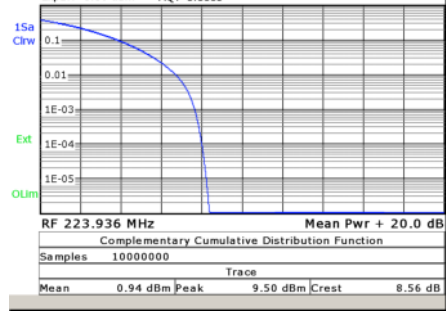
| Ensemble: LMK Radio | | Date & Time(UTC: 13.09.2016, 09:31) | |
|---------------------|----------|-------------------------------------|------------|
| Pass | Limit | Results | Limit Unit |
| Level | -60.0 | 1.3 | 10.0 dBm |
| Sideband | | Normal | |
| Transmission Mode | | Mode 1, 1536 carriers | |
| Carrier Freq Offset | | -1.3 | 30000.0 Hz |
| Bit Rate Offset | -30000.0 | -16.5 | 100.0 ppm |
| MER/EVM (rms) | 24.0 | 29.3 | dB |
| MER/EVM (peak) | 10.0 | 17.9 | dB |
| BER before Viterbi | | 0.0e-8(967/1K00) | 1.0e-2 |
| FIB Errors | | 0 | 1 /s |

Lvl 1.3dBm | BER 0.0e-8 | MER 29.3dB DEMOD FIC

Crest-Faktor

R&S ETL CCDF S/N 104042, FW 2.80


Ch: --- RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB
 Offs 1.00 dB RBW 3 MHz
 Att 5 dB
 ExptLvl -3.50 dBm AQT 3.333s



RF 223.936 MHz Mean Pwr + 20.0 dB
 Complementary Cumulative Distribution Function
 Samples 10000000
 Mean 0.94 dBm Peak 9.50 dBm Crest 8.56 dB

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

12




Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

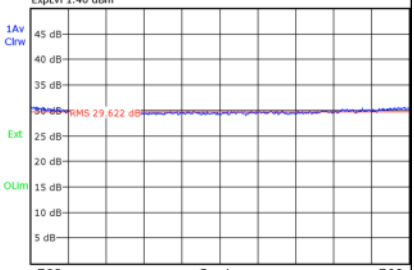
Weitere HF-Parameter: Ergebnisse



MER

MER ETL MER vs Carrier S/N 104042, FW 2.80

Ch: --- RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB
Offs 1.00 dB
* Att 10 dB
* ExplLvl 1.40 dBm



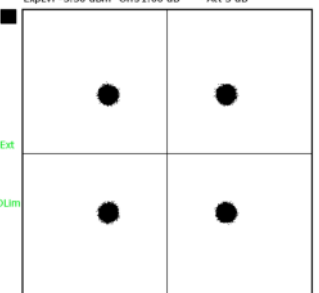
-768 Carrier 768

Lvl 1.2dBm | BER 0.0e-9 | MER 29.6dB | DEMOD FIC

Konstellationsdiagramm

MER ETL Constellation S/N 104042, FW 2.80


Ch: --- RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB
ExplLvl -3.50 dBm Offs 1.00 dB * Att 5 dB



Lvl 1.4dBm | BER 0.0e-8 | MER 29.5dB | DEMOD FIC | Syrb 1.6800e+004

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

13




Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Weitere HF-Parameter: Ergebnisse



Fehlerraten (MER/BER)

MER ETL Modulation Errors S/N 104042, FW 2.80

Ch: --- RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB
Offs 1.00 dB
* Att 5 dB
* ExplLvl -3.50 dBm

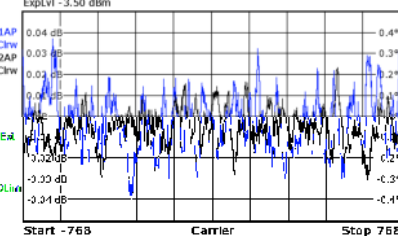
| | Pass | Limit | < | Results | < | Limit | Unit |
|----------------------|----------------------|-------|---|---------|---|--------|------|
| DC | Level | -90.0 | < | 7.1 | < | 10.0 | dBm |
| | Carrier to Noise | 15.0 | < | 23.1 | < | | dB |
| MLK | (rms) | <4.0 | < | 29.1 | < | | dB |
| | (sec-s) | 10.0 | < | 1.0 | < | | dB |
| LVV | (rms) | ---- | < | 3.0 | < | 4.00 | % |
| | (sec-s) | ---- | < | 13.0 | < | 22.00 | % |
| BER ref. Viterbi | | | < | 0.0e-9 | < | 1.0e-2 | |
| | BER ref. Viterbi FIC | | < | 0.0e-9 | < | 1.0e-2 | |
| ULC ref. Viterbi FIC | | | < | 0.0e-9 | < | 1.0e-2 | |

Lvl 1.3dBm | BER 0.0e-7 | MFR 29.4dB | DEMOD FIC

I/Q Amplitudenungleichheit

MER ETL I/Q Imbalance S/N 104042, FW 2.80

Ch: --- RF 223.936000 MHz T-DMB/DAB
Offs 1.00 dB
* Att 5 dB
* ExplLvl -3.50 dBm



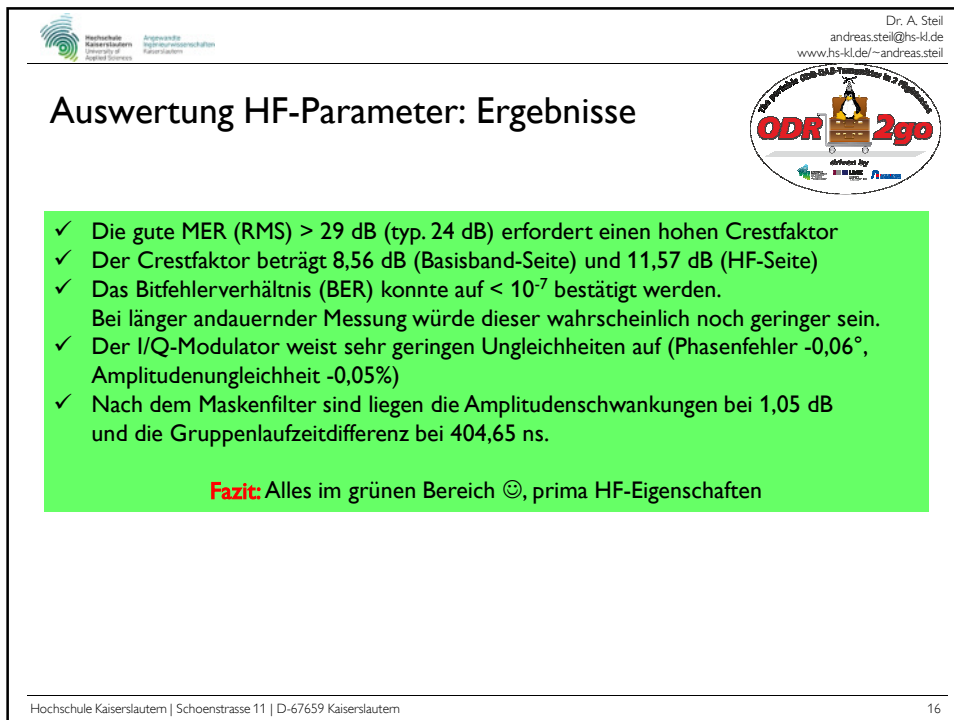
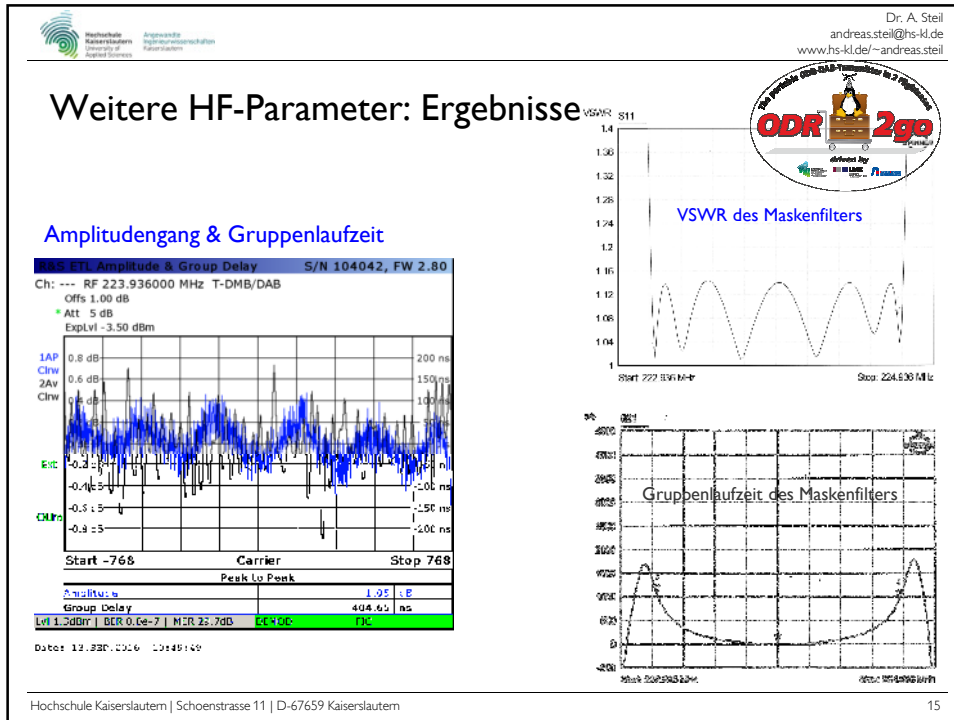
Start -768 Carrier Stop 768


Mean Values: 0.00 dB | 0.00 %

Lvl 3.30dB | BER 0.0e-7 | MER 29.7dB | DEMOD FIC

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

14






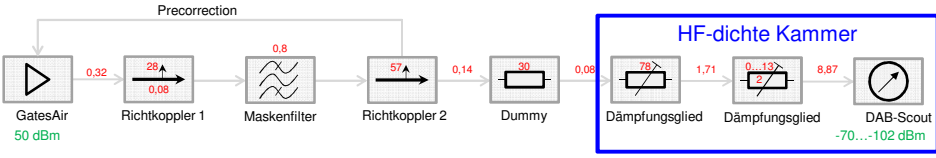
Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angebot
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Protection Level: Wie wurde gemessen?






- Die Überprüfung der Protection-Level im ETI-Datenstrom erfolgte durch SNR, Bitfehlerrate und wahrnehmbare Audioqualität durch Variation der Empfangsleistung.
- DAB-Sender und der DAB-Scout können nicht im gleichen Raum betrieben werden, da ansonsten selbst bei fehlender Verkabelung Empfang möglich ist. Die Messung erfolgt deshalb in einer **HF-dichten Kammer**.

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

17




Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angebot
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil

Protection Level: Ergebnis



Messung: DAB-Scout 2.0

| Eingangsleistung in dBm | DAB | | | | | DAB+ | | | |
|-------------------------|---|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|
| | PL 1 | PL 2 | PL 3 | PL 4 | PL 5 | PL 1A | PL 2A | PL 3A | PL 4A |
| | Pre Viterbi in 10 ³ /SNR in dB | | | | | | | | |
| -70 | 13/29 | 10/28 | 6/28 | 6/30 | 6/30 | 22/18 | 9/28 | 7/30 | 3/30 |
| -75 | 62/27 | 34/27 | 36/27 | 29/26 | 16/28 | 96/18 | 55/28 | 34/27 | 16/26 |
| -80 | 118/25 | 106/24 | 56/23 | 55/25 | 32/25 | 198/18 | 84/24 | 62/23 | 41/23 |
| -85 | 275/19 | 183/20 | 132/20 | 120/21 | 80/20 | 587/16 | 227/21 | 151/19 | 73/19 |
| -88 | 541/17 | 350/17 | 262/17 | 225/18 | 150/18 | 1194/14 | 415/18 | 286/17 | 152/17 |
| -91 | 1117/15 | 699/15 | 539/15 | 420/14 | 299/14 | 2322/13 | 817/15 | 543/14 | 300/14 |
| -94 | 2008/13 | 1223/13 | 905/13 | 712/12 | 485/12 | 4110/11 | 1441/13 | 944/12 | 520/12 |
| -97 | 4700/9 | 3200/10 | 2219/10 | 1850/11 | 1200/9 | 9600/9 | 3519/10 | 2416/10 | 1453/9 |
| -100 | 14387/5 | 8900/7 | 6471/8 | 5260/6 | 4002/3 | 28000/5 | 9901/8 | 6700/7 | 4500/3 |
| -102 | Duplindifferenzierung | | | | | | | | |

| | |
|--|---------------------------|
| | gutes Audio |
| | leichte Artefakte |
| | grobe Artefakte/Aussetzer |
| | kein Audio/unhörbar |

| Protection Level | C/N (dB) | | | | |
|---------------------------|----------|--------|--------|--------|-------|
| | 1 / 1A | 2 / 2A | 3 / 3A | 4 / 4A | 5 / - |
| C/N for DAB (EBU BPN 003) | 12.1 | 12.6 | 13.3 | 14.9 | 18.6 |
| C/N for DAB+ (EBU TR 025) | 7.0 | 9.3 | 11.8 | 17.3 | |

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

18

Hochschule
Kaiserslautern
University of Applied Sciences

Angewandte
Ingenieurwissenschaften
Kaiserslautern

Dr. A. Steil
andreas.steil@hs-kl.de
www.hs-kl.de/~andreas.steil



The portable ODR-DAB-Transmitter in a Flightcase

ODR 2go

driven by

Logo of Hochschule Kaiserslautern, Logo of Hochschule Koblenz, Logo of Hochschule Trier, Logo of Hochschule Rheinland, Logo of Hochschule Mosane, Logo of Hochschule Aachen

Das war's auch schon.
Danke für's zuhören.

Fragen?

Hochschule Kaiserslautern | Schoenstrasse 11 | D-67659 Kaiserslautern

19